



Mikrobiologiske undersøgelser af effekten af UV-belysning i Odense Vandselskabs ledningsnet

fase 1

Corfitzen, Charlotte B.; Albrechtsen, Hans-Jørgen; Arvin, Erik

Publication date:
2006

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Corfitzen, C. B., Albrechtsen, H-J., & Arvin, E. (2006). Mikrobiologiske undersøgelser af effekten af UV-belysning i Odense Vandselskabs ledningsnet: fase 1. Kgs. Lyngby: Institut for Miljø & Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet.

DTU Library

Technical Information Center of Denmark

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

**Mikrobiologiske undersøgelser af
effekten af UV-belysning i Odense
Vandselskabs ledningsnet**

Fase 1

Januar 2006

**Institut for Miljø & Ressourcer
Danmarks Tekniske Universitet**

**Charlotte Bettina Corfitzen
Hans-Jørgen Albrechtsen
Erik Arvin**

1 Baggrund

UV-belysning kan anvendes som desinfektionstrin overfor bakterier og virus, idet energien fra belysningen beskadiger cellernes DNA. Effektiviteten af UV-belysning afhænger af den anvendte belysningsintensitet, belysningstiden og vandets absorbans (f.eks. farve og partikler).

Odense Vandselskab overvejer at indføre UV-belysning i distributionsnettet i 2005 som en ekstra barriere mod indtrængende patogener. Vandforsyningen ønsker i den forbindelse at undersøge, om der er en risiko for, at energien fra UV-belysningen spalter organisk materiale i vandet og derved øger den fraktion af organiske stof bakterierne kan anvende til vækst: assimilært organisk carbon (AOC). Dette vil reducere biostabiliteten i ledningsnettet, hvilket kan lede til en stigning i bakterieantallet.

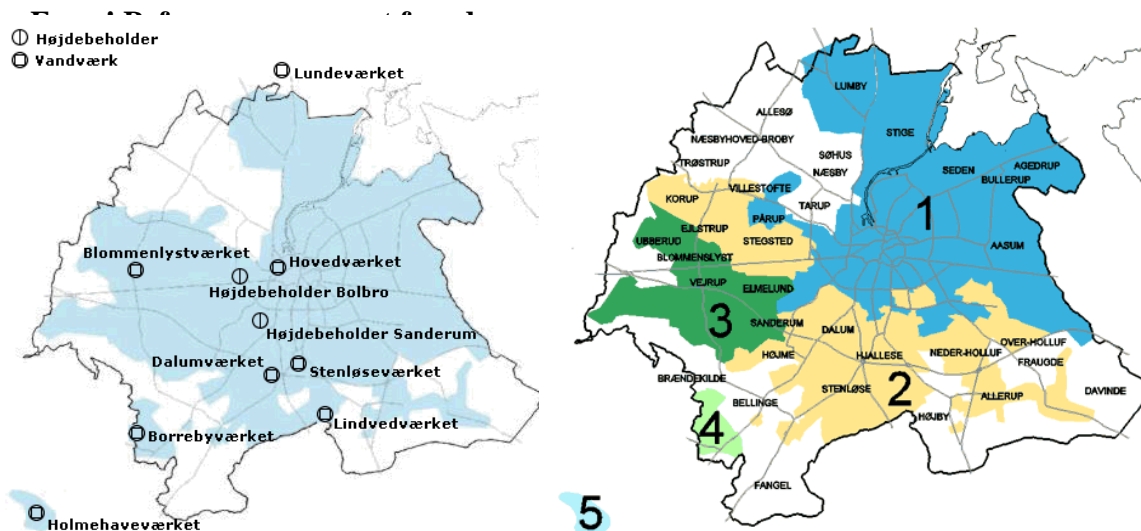
I en del undersøgelser af effekten af UV-belysning har mængden af AOC været upåvirket (f.eks. Charnock and Kjønne, 2000; Hengesbach et al., 1993), i nogle tilfælde er det endda set, at mængden af AOC reduceres (f.eks. Lehtola et al., 2003; Lund and Hongve, 1994). Undersøgelser med flere forskellige vandtyper og konstante UV-parametre har dog vist, at hvorvidt AOC-niveauet stiger, reduceres eller forbliver uændret i høj grad afhænger af vandtypen (f.eks. Shaw et al., 2000). Det er derfor tilrådeligt at undersøge effekten i den aktuelle vandtype ved implementering af UV-belysning.

For at kunne monitorere effekten af UV-belysningen var det som fase 1 ønsket at etablere en baseline for situationen i ledningsnettet før indførelsen.

2 Undersøgelsen

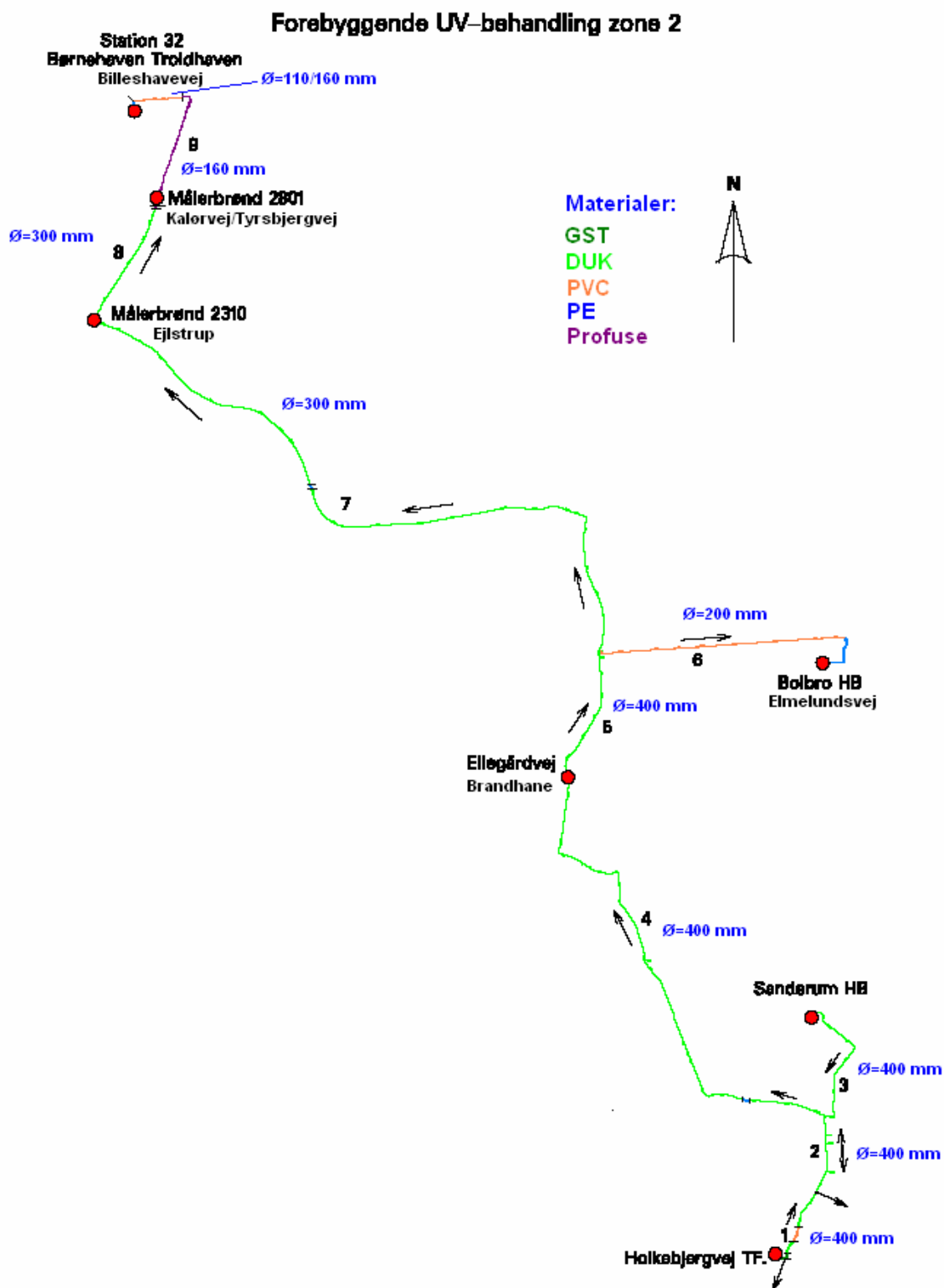
Undersøgelsen blev udført indenfor Odense vandforsyningsnet zone 2, der forsynes af vandværkerne Dalum, Holmehave, Lindved, Borreby og Stenløse (Figur 1 **Error! Reference source not found.**). Der blev prøvetaget fem gange over et kalenderår fra syv lokaliteter fordelt over en 12,7 km strækningen fra Holkebjergvej Trykforøger/Sanderum Højdebeholder til Station 32 (børnehaven Troldhaven) suppleret med yderligere to lokaliteter tæt på Målerbrønd 2310 ved femte prøvetagningsrunde (Figur 2, Tabel 2 **Error! Reference source not found.**). **Error! Reference source not found.** Tappedstederne, som var udvalgt af Odense Vandselskab, var fordelt på trykforøger, højdebeholder, brandhane, målerbrønd og husinstallation.

Ledningsnettet består primært af duktilt støbejern med kortere strækninger (ledningsførelse til Bolbro Højdebeholder og til Station 32) af PVC og PE (inkl. Profuse) (Figur 2 **Error! Reference source not found.**). Vandet i zonen har en gennemsnitlig maksimal opholdstid i den fjerneste ende af strækningen på 33¼ timer (Tabel 2 **Error! Reference source not found.**). Vand, der pumpes igennem Holkebjergvej Trykforøger, kommer ikke i Sanderum Højdebeholder, så vandet i disse to punkter kan have forskellige sammensætning afhængig af produktionstidspunkt. Vandsammensætning fra vandværker forsynende zone 2 er angivet i Tabel 1.



Figur 1: Oversigt over Odense Vandselskabs forsyningsområde (www.ov.dk, april 2005).

Forud for 1. prøvetagningsrunde i marts 2004 blev der udført ledningsarbejde på forgreningen mellem ledning 5 og 6 og på ledning 6 i december 2003 og februar 2004. Arbejdet medførte, at ledning 6, 7, 8 og 9 var trykløse i kortere perioder, og at vandstrømmen blev vendt flere gange.



Figur 2: Oversigt over zone 2 af Odense vandforsyningsnet dækkende en 12,7 km rørstrækning med angivelse af prøvelokaliteter, rørmaterialer og mest anvendte rørdiametre på delstrækningerne.

Analyseparameter	Enhed	Holmehave	Lindved	Borreby	Stenløse
Kimtal 22 °C	Antal/ml	< 1	< 1	11	1
Kimtal 37 °C	Antal/ml	< 1	< 1	1	< 1
Coliforme bakterier	Antal/100 ml	0	0	0	0
Escherichia coli	Antal/100 ml	0	0	0	0
Enterokokker	Antal/100 ml	0	0	0	0
Ammoniak+ammonium	mg/l	0,033	0,005	0,007	0,015
Anioner, total	meq/l	6,8	8,0	6,6	8,2
Bly	µg/l	< 0,025	0,021	0,060	< 0,025
Calcium	mg/l	94	107	113	120
Carbon,org,NVOC	mg/l	1,7	1,7	1,9	1,1
Carbondioxid, aggr.	mg/l	< 2	< 2	< 2	< 2
Chlorid	mg/l	38,0	49,0	21,2	67
Farvetal	mg/l	4,2	4,0	2,9	1
Fluorid	mg/l	0,28	0,41	0,16	0,34
Hydrogencarbonat	mg/l	307	330	282	291
Hårdhed, total	°dH	16	18	17	19,8
Iltindhold	mg/l	9,5	10,8	10,7	8,3
Inddampningsrest	mg/l	388	460	394	520
Jern	mg/l	0,05	0,01	0,01	0,048
Kalium	mg/l	3,8	5,0	2,4	4,5
Kationer, total	meq/l	7,1	8,2	6,9	8,9
Konduktivitet	mS/m	65	76	62	85
Magnesium	mg/l	12	14	7	16
Mangan	mg/l	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,013
Natrium	mg/l	32	36	14	41
Nikkel	µg/l	0,3	0,6	2,1	0,48
Nitrat	mg/l	1,1	1,0	1,3	0,65
Nitrit	mg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
pH		8,0	8,1	8,2	8
Phosphor, total-P	mg/l	0,016	0,012	0,021	0,008
Sulfat	mg/l	32	56	63	72
Temperatur	°C	8,6	9,0	8,6	8,5
Turbiditet	FTU	0,3	0,1	0,1	0,22

Table 1: Vandkvalitetsparametre opgivet som gennemsnit for 2004 for vandværker forsynende Odense Vandforsyningsnet zone 2 (Dalum vandværk var under ombygning i 2004) (www.ov.dk april 2005).

Lokalitet	Tappedestype	Afstand fra Holkebjergvej TF [m]	Gennemsnitlig opholdstid [h:min]* Min. / Max.
Holkebjergvej	Trykforøger	0	0 / 0
Sanderum	Højdebeholder	1.622	0 / 0
Ellegårdsvej	Brandhane	4.452	6:56 / 11:45
Bolbro (Elmelundsvej)	Højdebeholder	6.060	11:18 / 15:12
Ejlstrup	Målerbrønd 2310	8.560	24:06 / 28:57
Kalørvej/Tyrsbjergvej	Målerbrønd 2801	9.338	27:35 / 32:14
Station 32 (Billeshavevej)	Børnehaven Trolldhaven	10.311	29:00 / 33:16

Table 2: Oversigt over prøvesteder. * Gennemsnitlig opholdstider modeleret i AQUIS af Odense Vandselskab med vandets alder sat til 0 timer ved afgang fra Holkebjergvej Trykforøger og Sanderum Højdebeholder.

2.1 Prøvetagning

Odense Vandselskab forestod prøvetagningen af drikkevandsprøver (udført i henhold til Dansk Standard), mens analyserne blev udført af henholdsvis Eurofins og E&R DTU.

Prøvetagningsrunderne blev foretaget en fast ugedag, hvor prøverne blev udtaget mellem kl. 6:45 og 9:45, idet det blev tilsigtet, at prøverne skulle tages i samme rækkefølge imellem prøvetagningsrunderne. Prøverne blev opbevaret på køl, og straks efter endt prøvetagning fragtet til DTU, hvor analyserne blev startet kl. 13 samme dag. Prøver til Eurofins blev ligeledes afleveret på prøvetagningsdagen, og analyserne startet næste morgen. Prøver til analyse for endotoxin blev udtaget i en efterfølgende selvstændig prøverunde inkluderende de to supplerende lokaliteter og sendt til Rambøll, som foretog analyserne den efterfølgende dag.

2.2 Analyseparametre

2.2.1 Mikrobielle parametre

Kimtal-22 og kimal-37 på gærekstrakt

Kimtal-22 (DS/EN/ISO 6222) og kimal-37 (DS/EN/ISO 6222) på gærekstrakt blev bestemt, da der er fastsat kravværdier for disse parametre (henholdsvis $HPC_{GEA,22^{\circ}C,72h}$ og $HPC_{GEA,37^{\circ}C,48h}$). Udførtes som akkrediteret analyse hos Eurofins.

Kimtal-20 på R₂A

Desuden blev der bestemt kimal-20 på R₂A. Dette er en agar optimeret til kimalbestemmelse i drikkevand, hvilket medfører, at en lang større andel af bakterierne i vandet kan danne kolonier end på traditionelle agar-medier. En lang inkuberingstid tillader endvidere, at et større antal bakterier når at danne kolonier. Derved opnås et mere nuanceret billede af eventuelle forskelle. Kimal på R₂A kan ikke sammenlignes direkte med bestemmelser foretaget på gærekstrakt, og der er ikke fastsat nogen kravværdi. Udførtes af E&R DTU som $HPC_{R2A,20^{\circ}C,14\ d\o{g}n}$.

Acridin Orange Direct Count

Totale celledetal bestemmes ved mikroskopering efter farvning med acridin orange (AODC). Metoden er ikke selektiv som kimalbestemmelser, men skelner på den anden side heller ikke imellem døde og levende celler. Udførtes af E&R DTU.

Adenosin TriPhosphat

Adenosin TriPhosphat (ATP) er energibærende molekyle i alle levende celler. Måling af ATP er således en ikke-selektiv hurtigmetode, som bestemmer al celleaktivitet, men som ikke direkte kan omsættes til bakterieantal. I princippet måles kun aktive celler, men ATP kan frigøres til vandfasen ved celledød og høj celleaktivitet, hvorfor der blev målt på både ufiltreret (ATP_{total}) og filtreret (ATP_{frit}) prøver. Udførtes af E&R DTU.

Assimilerbart Organisk Carbon

Assimilerbart Organisk Carbon (AOC) udgør det primære væksts substrat for bakterier i drikkevand og er derved et mål for vandets eftervækstpotentiale. Bestemmelsen udføres som et bio-assay, baseret på måling af tilvæksten af to kulturer: *Pseudomonas fluorescens* (P17) og *Aquaspirillum* sp. (NOX). En pasteuriseret prøve (70°C i 45 minutter) tilsættes renkulturerne, hvis vækst ved 15°C følges ved kimalbestemmelser ($HPC_{R2A, 25^{\circ}C, 3\ d\o{g}n}$). Det maksimale bakterieantal omsættes til acetat-C ækvivalenter ved hjælp af en standardkurve for acetat for hver

af de to bakterier. AOC-metoden er en standardiseret metode og resultaterne vil således kunne sammenlignes med værdier fra litteraturen. Udførtes af E&R DTU.

Eftervækstpotentiale

AOC bestemmelsen kunne ikke udføres i 1. prøvetagningsrunde, hvorfor der som kompensation blev suppleret med bestemmelse af eftervækstpotentiale i de efterfølgende prøvetagningsrunder. I modsætning til AOC fastlægges eftervækstpotentialet ved det maksimale antal af vandets egne bakterier, som vokser op i prøven ved henstand ved 15°C over en 14 døgns periode (bestemt som $HPC_{R2A,20^{\circ}C,14 \text{ døgns}}$). Udførtes af E&R DTU.

Endotoxin

Endotoxin udgør en del af cellevæggen i gram-negative celler, som er dominerende i grundvandsbaseret drikkevand. Ligesom ATP resulterer endotoxin-målinger således ikke i et direkte celleantal, men er et mål for bakterieniveauet. Udførtes som akkrediteret analyse hos Rambøll.

2.2.2 Ikke-mikrobielle parametre

Ved alle prøvetagningssteder registreredes tappetidspunkt og temperatur. Der blev analyseret for en række ikke-mikrobielle parametre, der er fastsat kravværdier for: Jern (MK1361-ICP), turbiditet (MK4259DSEN27027), ilt (DS/EN 25814-1), NVOC (ikke flygtigt organisk carbon - MK4261DS/EN1484). Udførtes som akkrediteret analyser hos Eurofins, dog var turbiditetsmålingen ikke omfattet af akkrediteringen.

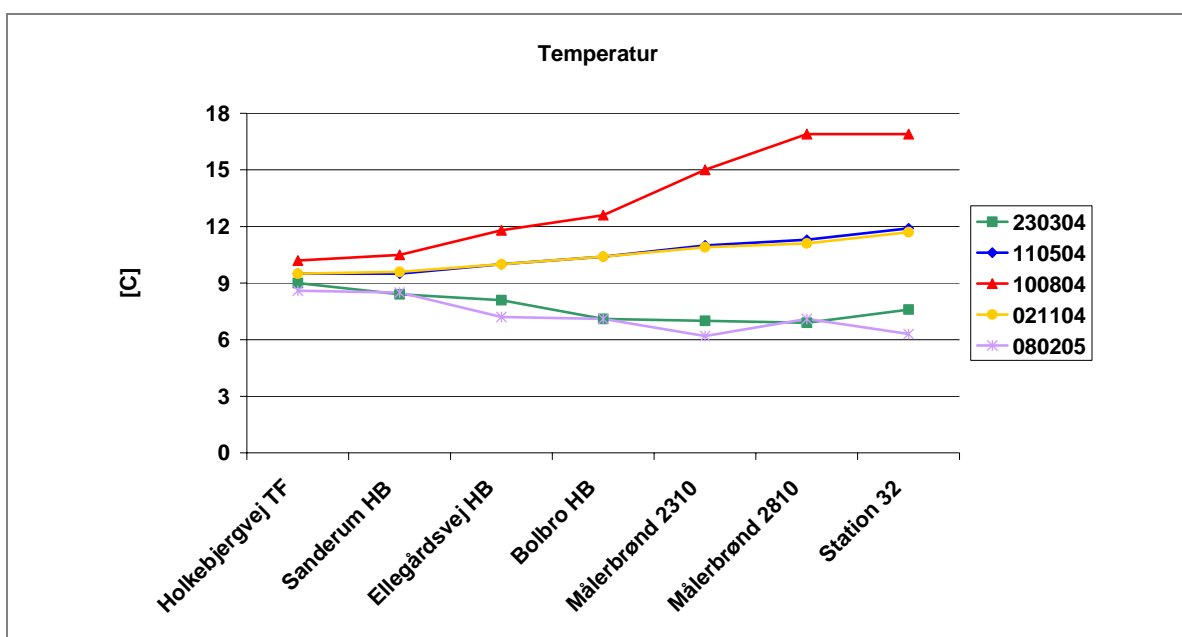
2.3 Statistik

Data blev evalueret med ANOVA og t-test med Graphpad Prism software. Alle test er udført med 95% signifikansniveau.

3 Resultater

De fem prøvetagningsrunder blev foretaget 23. marts 2004, 11. maj 2004, 10. august 2004, 2. november 2004 og 8. februar 2005. Resultatoversigter for de fem prøvetagningsrunder er angivet i Bilag 1 og er diskuteret nedenfor. Prøver til analyse for endotoxin blev udtaget 17. maj 2005.

Forsøgsrunderne var placeret over kalenderåret således, at størst mulige spænd i temperaturen i ledningsnettet ville blive registreret. Ved prøvetagningerne i marts og februar med de laveste udendørstemperatur aftog temperaturen svagt ud igennem strækningen fra ca. 9°C til omkring 6-7°C. Ved prøvetagningerne i maj og november steg temperaturen svagt ud igennem nettet fra ca. 9,5°C til ca. 12°C. Ved sommerprøvetagningen i august steg temperaturen ud igennem nettet fra ca. 10°C til ca. 17°C (Figur 3). Der var over året således stor temperaturvariation i distributionsstrækningen.

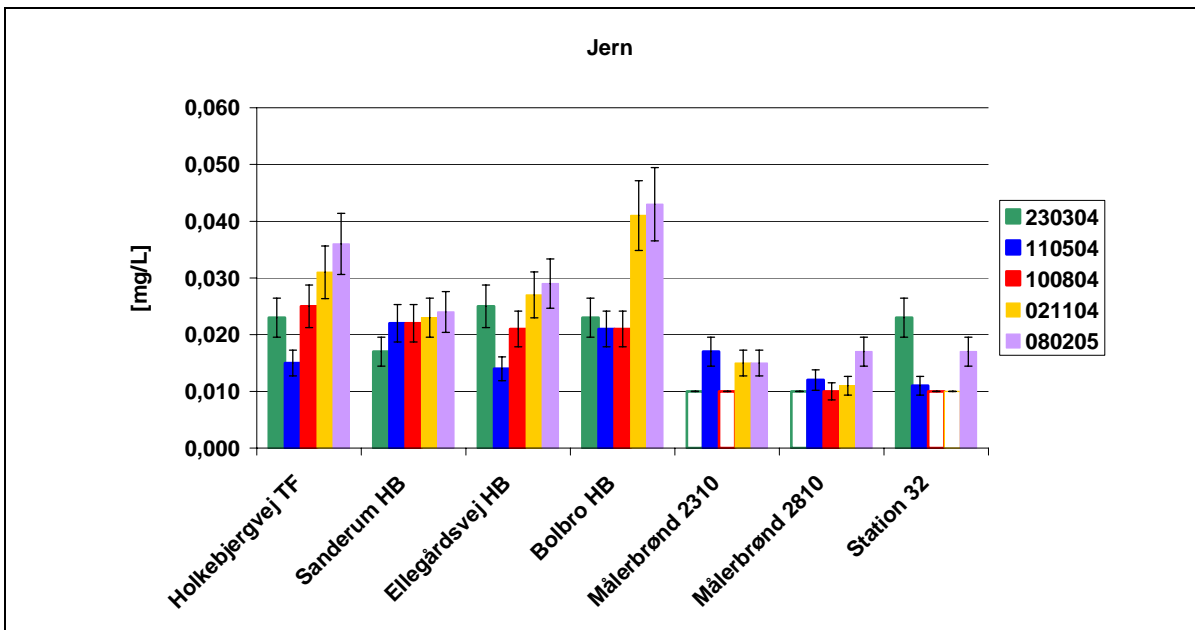


Figur 3: Temperaturvariation ud igennem ledningsnettet ved de fem prøvetagningsdage.

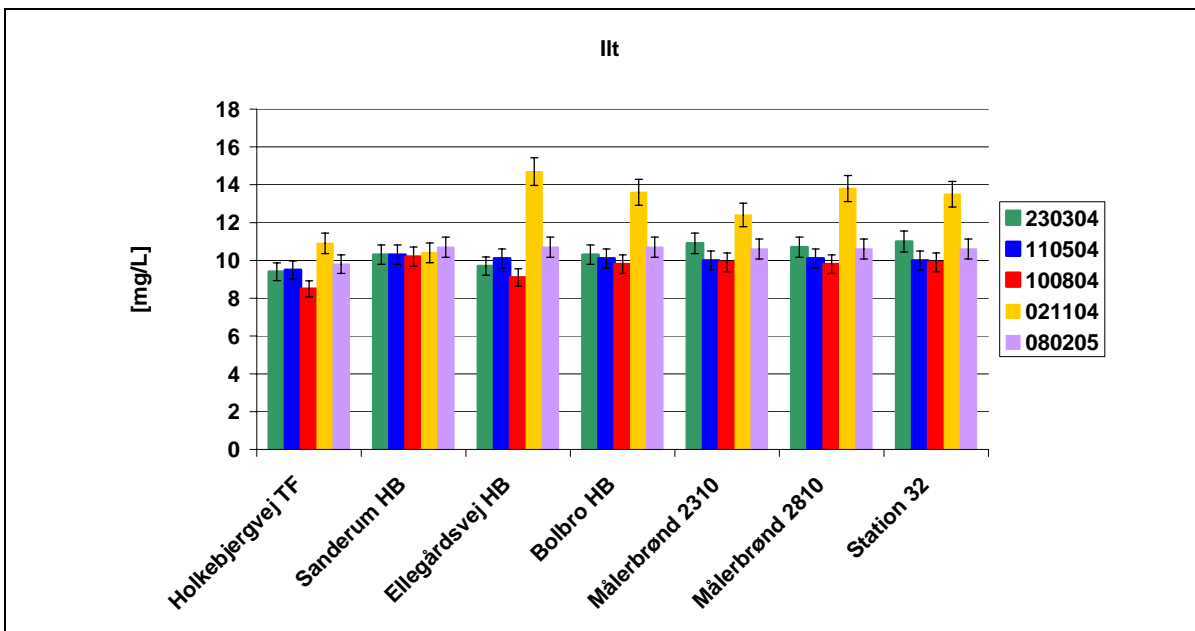
Jernindholdet var lavt for alle prøvelokaliteter med koncentrationer <0,05 mg/L (kravværdi: <0,2 mg/L), men med en signifikant lavere koncentrationer i den yderste del af ledningsnetstrækningen (Figur 4).

Vandet var iltrigt gennem hele strækningen med værdier mellem 8,5 og 11 mg/L (kravværdi: >5 mg/L)¹. Der var en lille, men signifikant stigning i iltkoncentrationen fra Holkebjergvej Trykforøger til det øvrige ledningsnet, uden nogen signifikant ændring igennem det resterende ledningsnet (Figur 5). Der var således ikke noget signifikant iltforbrug ud igennem ledningsnettet, hvilket indikerede en lav bakterietilvækst.

¹ For 4. prøvetagningsrunde blev der målt overmætning af ilt i fem af prøverne (Ellegårdsvej HB til Station 32). Eurofins afviser, at der skulle være fejl ved selve analysen, så værdierne kan ikke umiddelbart forklares. Det er valgt at se bort fra de overmættede værdier i resultatbehandling.



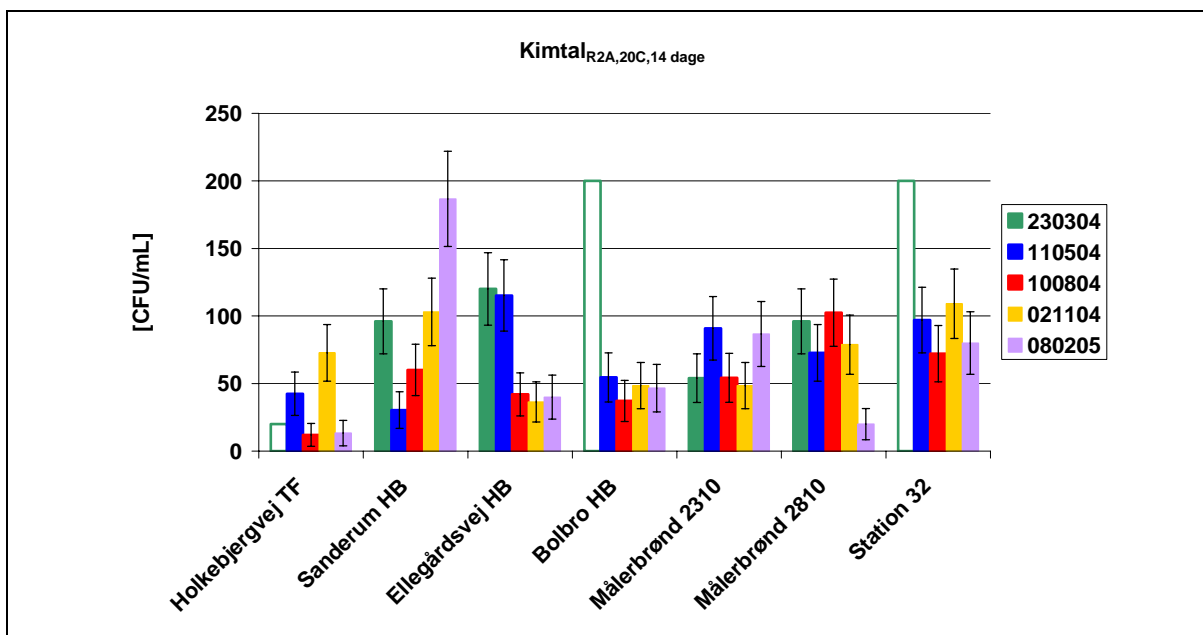
Figur 4: Jernkoncentrationer ud igennem ledningsnettet ved de fem prøvetagningsdage. Tomme søjler angiver, at koncentrationen lå under analysemetodes detektionsgrænse på 0,010 mg/L. Fejllinier angiver analysemetodens relative standardafvigelse (15%).



Figur 5: Iltkoncentrationer ud igennem ledningsnettet ved de fem prøvetagningsdage. Fejllinier angiver analysemetodens relative standardafvigelse (5%).

NVOC-værdierne var konstant lave med gennemsnit på $1,6 \pm 0,3$ mg/L (kravværdi: <4 mg/L) uden nogen konsekvent forandring igennem ledningsnettet (værdier ikke vist, jævnfør Bilag 1). Med højeste værdi på 0,31 FTU (kravværdi: <1 FTU) var værdierne for turbiditets-målingerne også lave med gennemsnit på $0,15 \pm 0,05$ FTU (værdier ikke vist, jævnfør Bilag 1).

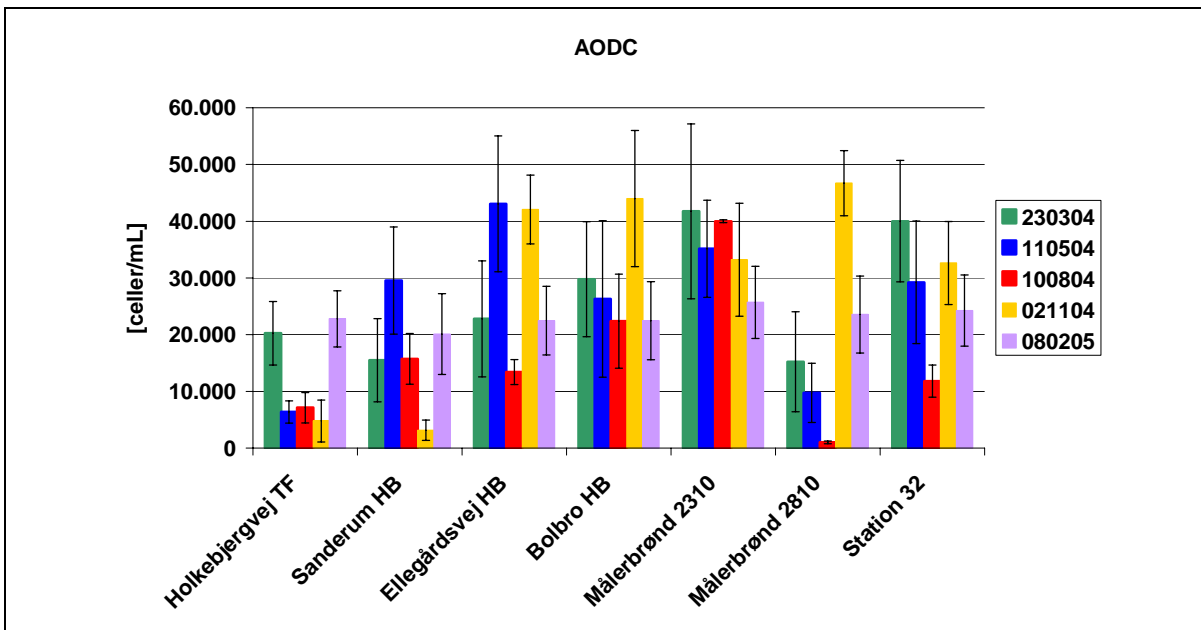
Standardbestemmelserne af kimal-22 og kimal-37 på gærekstrakt overholdt i alle tilfælde de fastsatte kravværdier. For kimal-22 havde alle prøver (på nær én med 33 CFU/mL) mellem <1 og 15 CFU/mL (kravværdi: <200 CFU/mL) og for kimal-37 mellem <1 og 3 CFU/mL (kravværdi: <20 CFU/mL), uden at der kunne påvises nogen generelle tendenser igennem ledningsnettet (værdier ikke vist, jævnfør Bilag 1). Kimal-20 på R₂A lå i intervallet 12-180 CFU/mL (Figur 6), hvilket må betegnes som et meget lavt niveau. Der kunne ses en svag tendens til stigende værdier ud igennem strækningen, uden der dog var signifikant forskel på værdierne, hvilket indikerede lav bakterieaktivitet.



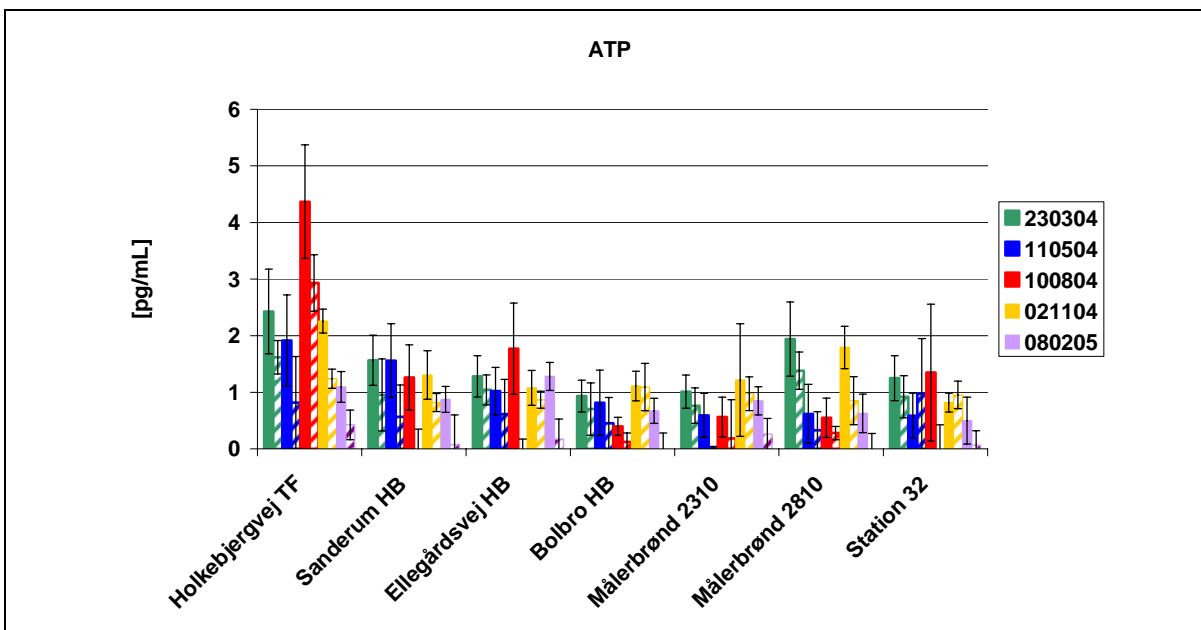
Figur 6: Kimal_{R2A, 20°C, 14 døg} ud igennem ledningsnettet ved de fem prøvetagningsdage. Tomme søjler angiver maksimale mulige værdier, når en koncentration ikke kunne fastlægges pga. kontamineret plade. Fejllinier angiver e.o.m.-værdien for bestemmelsen.

Totale celleantal målt ved AODC var ligeledes forholdsvis lave med værdier i intervallet 1×10^3 - $4,5 \times 10^4$ celler/mL (Figur 7). De lave værdier medførte relativt store standardafvigelse på bestemmelserne, således at der ikke kunne konstateres signifikante ændringer ud igennem strækningen.

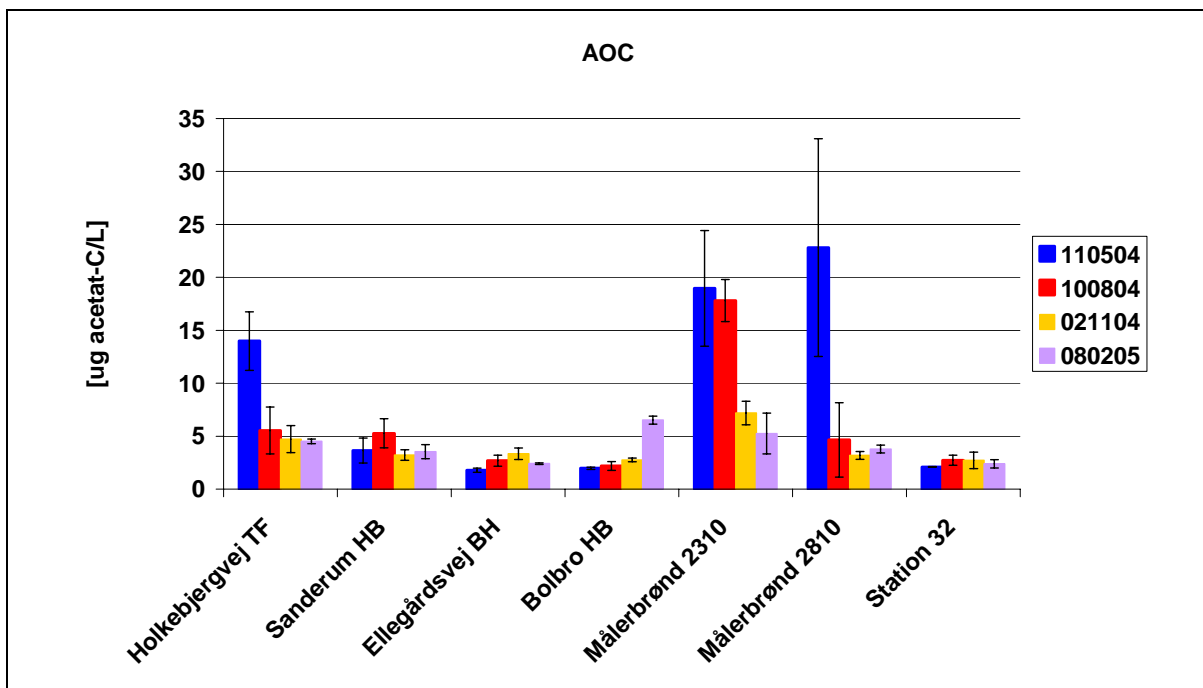
Alle ATP_{total}-værdier var <2 pg ATP/mL, på nær for Holkebjergvej Trykforøger, hvor højest målte værdi var 4,4 pg ATP/mL. Det er forventeligt, at ATP-niveauet er højest ved indgang til en strækning med lavt substratniveau, da bakterierne forbruger deres ATP, når de 'sultes'. Alle ATP-værdier måtte dog betegnes som endda meget lave, hvilket igen indikerede meget lav bakterieaktivitet. De lave totale ATP-værdier og lave bakterieaktivitet medførte, at ATP_{fit} kom til at udgøre en relativ stor fraktion af det totale ATP-indhold (Figur 8). Vand kan som tommelfingerregel betegnes som biostabil ved ATP værdier <10 pg ATP/mL (Corfitzen, 2004), hvorved de målte ATP-værdier indikerede en høj grad af biostabilitet.



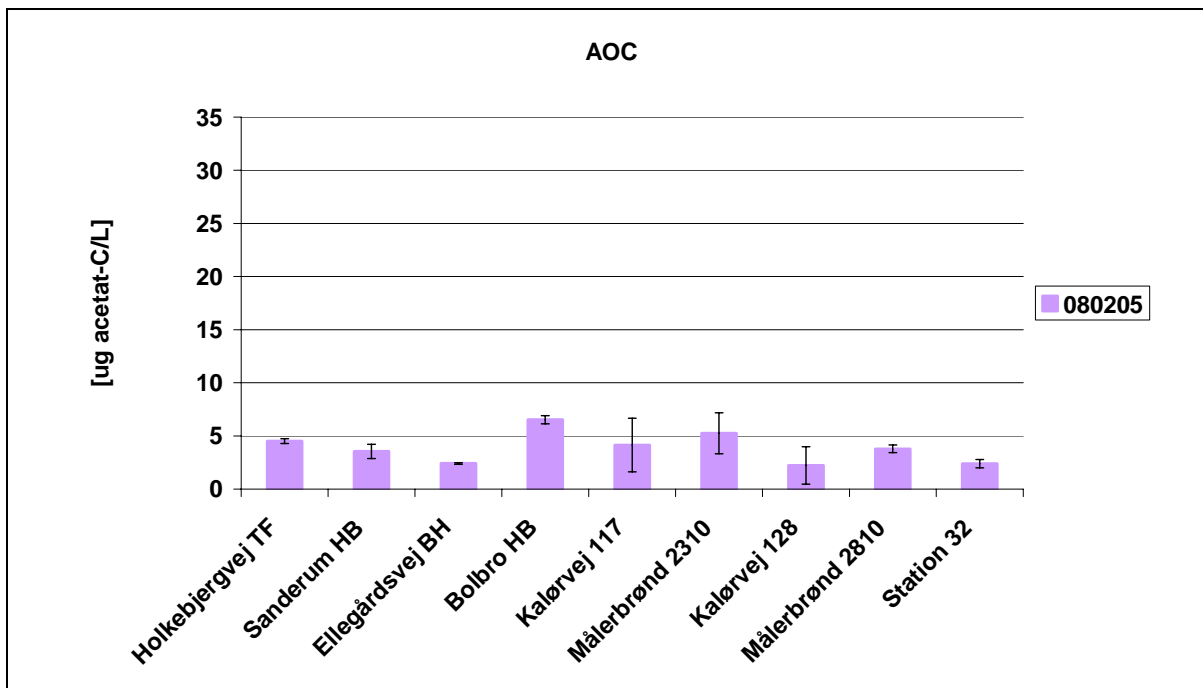
Figur 7: AODC-værdier ud igennem ledningsnettet ved de fem prøvetagningsdage. Fejllinier angiver standardafvigelsen for bestemmelsen.



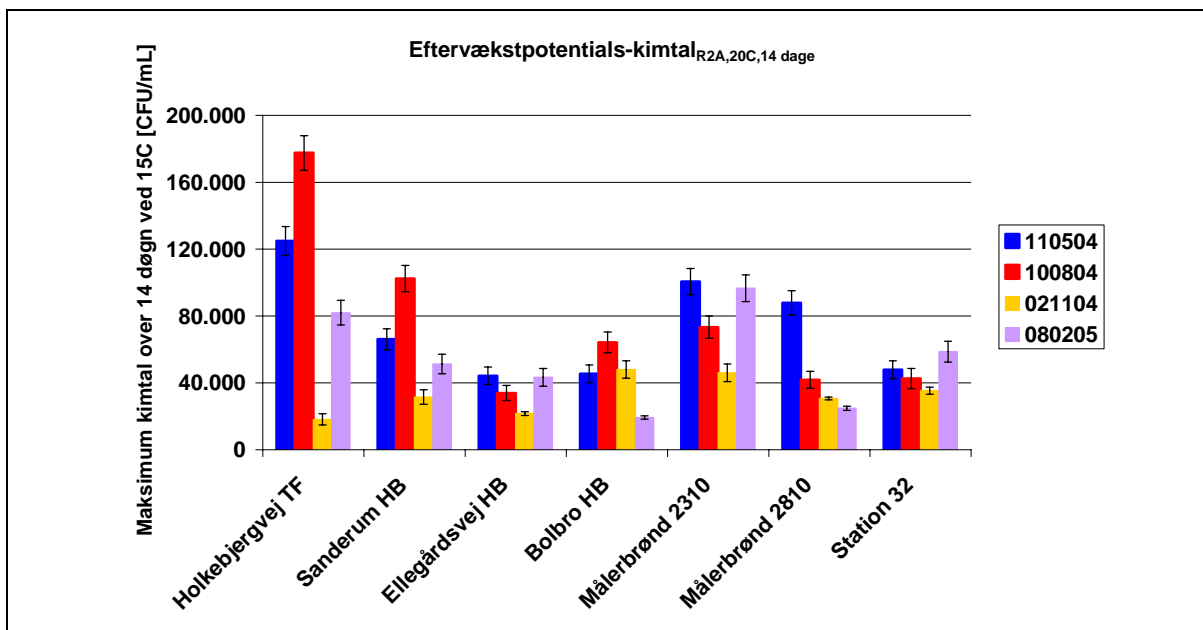
Figur 8: ATP-værdier ud igennem ledningsnettet ved de fem prøvetagningsdage. Udfyldte søjler angiver ATP_{total}, mens skraverede søjler angiver ATP_{frit}. Fejllinier angiver standardafvigelsen for bestemmelsen.



Figur 9: AOC-værdier ud igennem ledningsnettet ved fire af de fem prøvetagningsdage. Fejllinier angiver standardafvigelse imellem triplikate bestemmelser.



Figur 10: AOC-værdier for 5. prøvetagningsrunde, hvor to supplerende tæppesteder omkring Målerbrønd 2310 blev medtaget. Fejllinier angiver standardafvigelse imellem triplikate bestemmelser.

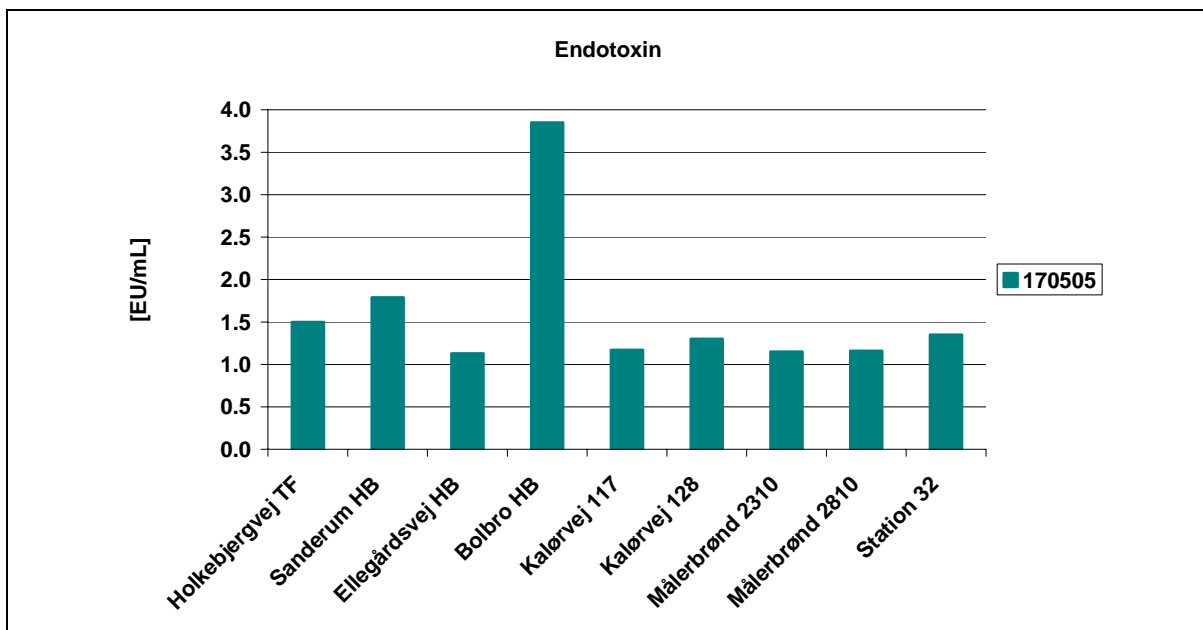


Figur 11: Eftervækstpotentiale ud igennem ledningsnettet ved fire af de fem prøvetagningsdage. Fejllinier angiver e.o.m.-værdien for bestemmelsen (enkelt bestemmelser).

AOC-værdierne lå med enkelte undtagelser under 7 ug acetat-C/L. Afvigende højere værdier blev set for Holkebjergvej Trykforøger og de to målerbrønde i prøvetagningsrunde 2 og for Målerbrønd 2310 i prøvetagningsrunde 3, hvor der blev observeret værdier mellem 14 og 23 μg acetat-C/L (Figur 9). For at undersøge om der generelt var forhøjede AOC-værdier i området omkring Målerbrønd 2310 blev der ved 5. prøvetagningsrunde medtaget to supplerende lokalitet tæt på Målerbrønd 2310, men ved denne prøvetagningsrunde var alle AOC-værdier $<6,5 \mu\text{g}$ acetat-C/L (Figur 10). Det konstante niveau ud igennem nettet indikerede et ringe AOC-forbrug og dermed en lav bakterietilvækst, hvilket stemte godt overens med kimtalsbestemmelserne. En generel tommelfingerregel betegner vand som biostabilt ved AOC-værdier <10 ug acetat-C/L (van der Kooij, 1992), og de målet AOC-værdier indikerede således, at vandet generelt i høj grad var biostabilt.

De afvigende højere AOC-værdier ved målerbrøndene ved 2. og 3. prøvetagningsrunde blev bekræftet ved måling af eftervækstpotentiale. De maksimale bakterieantal målt over 14 døgn inkubation ved 15°C viste samme tendenser for eftervækstpotentiale som AOC-målingerne (Figur 11). Alle værdier lå dog under $1,8 \times 10^5$ CFU/mL, hvilket stadig må betegnes som relativt lave værdier, hvilket atter indikerede, at vandet i høj grad kunne betegnes som biostabilt.

Endotoxin-værdierne viste ikke alarmerende niveauer, idet værdierne på nær én lå i intervallet 1,3-1,8 EU/mL (Figur 12). For færdigbehandlet drikkevand ligger endotoxin-målinger generelt i intervallet 0,2-2 EU/mL, men højere værdier behøver ikke at have betydning (Rambøll, maj 2005). Endotoxin-målingerne bekræftede således de øvrige målinger i, at bakterietilvæksten var lav ud igennem nettet.



Figur 12: Endotoxin-målinger foretaget 17. maj 2005 for de syv prøvelokaliteter samt to supplerende lokaliteter omkring målerbrønd 2310.

Hverken mellem lokaliteter eller mellem prøvetagningsrunder kunne der konstateres en effekt af forskellene i temperatur på de undersøgte parametre. Ligeledes så det ikke ud til, at ledningsarbejdet foretaget forud for prøvetagningsrunderne havde haft indflydelse på undersøgelsens resultater. Dog kan det ikke udelukkes, at de forhøjede AOC-værdier ved målerbrøndene ved 2. og 3. prøvetagningsrunde skal tilskrives dette arbejde, således at værdierne opnået ved 4. og 5. prøvetagningsrunde er repræsentative for de 'sande' værdier.

4 Konklusion

Ud fra de undersøgte parametre må det konkluderes, at Odense Vandselskab i ledningsnettets undersøgte zone 2 har en god vandkvalitet med relativt lave variationer over året. Der er derved opnået en robust baseline for situationen før indførelse af UV-belysning. Vandet besidder en høj grad af biostabilitet og de meget lave værdier for de mikrobiologiske parametre medfører, at selv mindre eventuelle ændringer i AOC-niveauet som følge af UV-belysningen vil kunne registreres. Dette betyder dog samtidig, at en mindre forhøjelse i AOC-niveau ikke vil medføre overskridelse af grænsen for, hvornår vand kan betegnes som biostabilt, og dermed ikke vil give anledning til mikrobiologiske problemer.

5 Referencer

Charnock, C.; Kjønnø, O. (2000) Assimilable organic carbon and biodegradable dissolved organic carbon in Norwegian raw and drinking waters, *Water Research*, vol. 34, no. 10, pp. 2629-2642

Corfitzen, C.B. (2004) Investigation of aftergrowth potential of polymers for use in drinking water distribution - Factors affecting migration of bioavailable compounds investigated by batch set-ups and continuous flow model systems. Ph.d.-afhandling, Miljø & Ressourcer DTU, Danmarks Tekniske Universitet

Hengesbach, B.; Schoenen, D.; Hoyer, O.; Bernhardt, H.; Mark, G.; Schuchmann, H. P.; von Sonntag, C. (1993) UV disinfection of drinking water – the question of bacterial regrowth and the photolytic degradation of biogenic high-molecular weight substances, *Aqua*, vol. 42, no. 1, pp. 13-22

Lehtola, M.J.; Miettinen, I.T.; Vartiainen, T.; Rantakokko, P.; Hirvonen, A.; Martikainen, P.J. (2003) Impact of UV disinfection on microbially available phosphorus, organic carbon, and microbial growth in drinking water, *Water Research*, vol. 37, pp. 1064-1070

Lund, V.; Hongve, D. (1994) Ultraviolet irradiated water containing humic substances inhibits bacterial metabolism, *Water Research*. Vol. 28, no. 5, pp. 1111-1116

Rambøll (2005) Følgebrev til endotoxin-resultater dateret 20. maj 2005

Shaw, F.P.; Malley, J.P.; Willoughby, S.A. (2000) Effects of UV irradiation on organic matter, *Journal of American Water Works Association*, Vol. 92, no. 4, pp. 157-167

van der Kooij, D. (1992) Assimilable organic carbon as an indicator of bacterial regrowth, *Journal of the American Water Works Association*, vol. 84, no. 2, pp. 57-65

Bilag 1: Analysedata

Rekv.Nr:	4626	4628	4630	4632	4634	4636	4638
Prøvested:	Trykforøger Holkebjergvej	Højdebeholder Sanderum	Brandhane Ellegårdsvej	Højdebeholder Bolbro	Målerbrønd 2310 Ejlstrup	Målerbrønd 2810 Kalørvej/Tyrsbjergvej	Station 32 BH Troldhaven
Prøvetager:	Kim	Kim	Kim	Kim	VH-RD	VH-RD	VH-RD
Dato:	230304	230304	230304	230304	230304	230304	230304
Tid:	08:25	08:00	09:35	09:10	08:25	08:55	09:40
T [C]	9,0	8,4	8,1	7,1	7,0	6,9	7,6
ATP [pg/mL]	2,4±0,7	1,6±0,4	1,3±0,4	0,9±0,3	1,0±0,3	1,9±0,7	1,2±0,4
ATP _{fit.} [pg/mL] [#]	1,6±0,3	1,0±0,6	1,0±0,3	0,7±0,5	0,8±0,3	1,4±0,3	0,9±0,4
AODC [x10 ³ celler/mL] [#]	20±6	16±7	23±10	30±10	42±15	15±9	40±11
Kimtal _{R2A,20C,14 dage} [CFU/mL] [¤]	<20	96±24	120±27	<200*	54±18	96±24	<200*
AOC [ug acetat-C/L] [§]	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.
Kimtal _{GEA,22C,72h} [CFU/mL] ¹⁾	<1	3	8	2	4	6	10
Kimtal _{GEA,37C,48h} [CFU/mL] ²⁾	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Jern (Fe) [mg/L] ³⁾	0,023	0,017	0,025	0,023	<0,010	<0,010	0,023
Turbiditet [FTU] ⁴⁾	0,14	0,11	0,11	0,16	0,16	0,17	0,15
Ilt [mg/L] ⁵⁾	9,4	10,3	9,7	10,3	10,9	10,7	11
NVOC [mg/L] ⁶⁾	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6

[#] ± stdev på bestemmelsen

[¤] ± e.o.m. værdi for bestemmelsen

[§] ± stdev mellem triplikater

* plader for fortynding 10⁰ var forurenede

n.m.: not measured

¹⁾: DS/EN/ISO 6222

²⁾: DS/EN/ISO 6222

³⁾: MK1361-ICP (RSD: 15%)

⁴⁾: MK4259DSEN27027 (RSD: 10%)

⁵⁾: DS/EN 25814-1 (RSD: 5%)

⁶⁾: MK4261DS/EN1484 (RSD: 10%)

Rekv.Nr:	4715	4717	4719	4721	4723	4725	4727
Prøvested:	Trykforøger Holkebjergvej	Højdebeholder Sanderum	Brandhane Ellegårdsvej	Højdebeholder Bolbro	Målerbrønd 2310 Ejlstrup	Målerbrønd 2810 Kalørvej/Tyrsbjergvej	Station 32 BH Troldhaven
Prøvetager:	Kim	Kim	VH	VH	VH	VH	VH
Dato:	110504	110504	110504	110504	110504	110504	110504
Tid:	07:30	07:00	07:35	07:10	08:15	08:45	09:10
T [C]	9,5	9,5	10	10,4	11,0	11,3	11,9
ATP [pg/mL]	1,9±0.8	1,0±0.4	1,0±0.4	0,8±0.6	0,6±0.4	0,6±0.5	0,6±0.4
ATP _{filt.} [pg/mL] [#]	0,8±0.4	0,6±0.7	0,6±0.3	0,5±0.4	0,0±0.4	0,3±0.5	1,0±0.4
AODC [x10 ³ celler/mL] [#]	6±2	30±9	43±2	26±14	35±9	10±5	29±11
Kimtal _{R2A,20C,14 dage} [CFU/mL] [¤]	42±16	30±14	115±26	55±18	91±23	73±21	97±24
AOC [ug acetat-C/L] [§]	14±3	4±1	1,8±0.2	2,0±0.1	19±5	23±10	2,10±0,02
Eftervækst [x10 ⁴ CFU/mL] [¤]	125±9	66±6	44±5	45±5	101±8	88±7	48±5
Kimtal _{GEA,22C,72h} [CFU/mL] ¹⁾	<1	3	15	8	6	7	6
Kimtal _{GEA,37C,48h} [CFU/mL] ²⁾	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Jern (Fe) [mg/L] ³⁾	0,015	0,022	0,014	0,021	0,017	0,012	0,011
Turbiditet [FTU] ⁴⁾	0,13	0,18	0,18	0,31	0,16	0,14	0,2
Ilt [mg/L] ⁵⁾	9,5	10,3	10,1	10,1	10,0	10,1	10,0
NVOC [mg/L] ⁶⁾	1,3	1,4	1,3	1,6	1,5	1,3	1,7

[#] ± stdev på bestemmelsen

[¤] ± e.o.m. værdi for bestemmelsen

[§] ± stdev mellem triplikater

n.m.: not measured

¹⁾: DS/EN/ISO 6222

²⁾: DS/EN/ISO 6222

³⁾: MK1361-ICP (RSD: 15%)

⁴⁾: MK4259DSEN27027 (RSD: 10%)

⁵⁾: DS/EN 25814-1 (RSD: 5%)

⁶⁾: MK4261DS/EN1484 (RSD: 10%)

Rekv.Nr:	4868	4870	4872	4874	4876	7878	4880
Prøvested:	Trykforøger Holkebjergvej	Højdebeholder Sanderum	Brandhane Ellegårdsvej	Højdebeholder Bolbro	Målerbrønd 2310 Ejlstrup	Målerbrønd 2810 Kalørvej/Tyrsbjergvej	Station 32 BH Troldhaven
Prøvetager:	Flk	Kim	Kim	Flk	Flk	Kim	Flk
Dato:	100804	100804	100804	100804	100804	100804	100804
Tid:	07:30	06:45	07:20	06:55	08:20	09:00	09:30
T [C]	10,2	10,5	11,8	12,6	15,0	15,70	16,9
ATP [pg/mL]	4,4±1,0	1,3±0,6	1,8±0,8	0,4±0,2	0,6±0,4	0,6±0,3	1,3±1,2
ATP _{filt.} [pg/mL] [#]	2,9±0,5	0±0,3	0±0,2	0,1±0,2	0,2±0,7	0,3±0,1	0±0,5
AODC [x10 ³ celler/mL] [#]	7±3	16±5	13±2	22±8	1,2±0,3	1,0±0,2	12±3
Kimtal _{R2A,20C,14 dage} [CFU/mL] ⁿ	12±8	60±19	42±16	37±15	54±18	102±25	72±21
AOC [ug acetat-C/L] [§]	6±2	5±1	2,7±0,5	2,2±0,4	18±2	5±4	2,7±0,5
Eftervækst [x10 ⁴ CFU/mL] ⁿ	17,8±1,0	10,2±0,8	3,4±0,5	6,4±0,6	7,3±0,7	4,2±0,5	4,3±0,6
Kimtal _{GEA,22C,72h} [CFU/mL] ¹⁾	4	12	<1	3	<1	10	5
Kimtal _{GEA,37C,48h} [CFU/mL] ²⁾	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Jern (Fe) [mg/L] ³⁾	0,025	0,022	0,021	0,021	<0,010	0,01	<0,010
Turbiditet [FTU] ⁴⁾	0,24	<0,10	0,17	0,11	0,11	0,14	<0,10
Ilt [mg/L] ⁵⁾	8,5	10,2	9,1	9,8	9,9	9,8	9,9
NVOC [mg/L] ⁶⁾	1,4	1,6	1,7	1,3	1,3	1,3	1,2

[#] ± stdev på bestemmelsen

ⁿ ± e.o.m. værdi for bestemmelsen

[§] ± stdev mellem triplikater

n.m.: not measured

¹⁾: DS/EN/ISO 6222

²⁾: DS/EN/ISO 6222

³⁾: MK1361-ICP (RSD: 15%)

⁴⁾: MK4259DSEN27027 (RSD: 10%)

⁵⁾: DS/EN 25814-1 (RSD: 5%)

⁶⁾: MK4261DS/EN1484 (RSD: 10%)

Rekv.Nr:	5207	5209	5211	5213	5215	5217	5219
Prøvested:	Trykforøger Holkebjergvej	Højdebeholder Sanderum	Brandhane Ellegårdsvej	Højdebeholder Bolbro	Målerbrønd 2310 Ejlstrup	Målerbrønd 2810 Kalørvej/Tyrsbjergvej	Station 32 BH Troldhaven
Prøvetager:	R.D.	R.D.	V.H.	V.H.	V.H.	V.H.	V.H.
Dato:	021104	021104	021104	021104	021104	021104	021104
Tid:	07:25	06:45	07:20	06:50	08:05	08:35	09:00
T [C]	9,5	9,6	10,0	10,4	10,9	11,1	11,7
ATP [pg/mL]	2,3±0,2	1,3±0,4	1,1±0,3	1,1±0,3	1,2±1,0	1,8±0,4	0,8±0,2
ATP _{filt.} [pg/mL] [#]	1,2±0,2	0,8±0,2	0,9±0,1	1,1±0,4	1,0±0,3	0,9±0,4	1,0±0,2
AODC [x10 ³ celler/mL] [#]	5±4	3±2	42±6	44±12	33±10	47±6	33±7
Kimtal _{R2A,20C,14 dage} [CFU/mL] [±]	73±21	103±25	36±15	48±17	48±17	79±22	109±26
AOC [ug acetat-C/L] [§]	5±1	3,2±0,5	3,3±0,6	2,8±0,2	7±1	3,2±0,4	2,7±0,5
Eftervækst [x10 ⁴ CFU/mL] [±]	1,8±0,3	3,2±0,4	2,2±0,1	4,8±0,5	4,6±0,5	3,1±0,1	3,5±0,2
Kimtal _{GEA,22C,72h} [CFU/mL] ¹⁾	<1	11	<1	3	2	3	4
Kimtal _{GEA,37C,48h} [CFU/mL] ²⁾	<1	3	<1	<1	<1	<1	<1
Jern (Fe) [mg/L] ³⁾	0,031	0,023	0,027	0,041	0,015	0,011	<0,010
Turbiditet [FTU] ⁴⁾	0,12	0,14	0,14	0,24	<0,10	0,11	0,10
Ilt [mg/L] ⁵⁾	10,9	10,4	14,7	13,6	12,4	13,8	13,5
NVOC [mg/L] ⁶⁾	1,6	1,5	1,4	1,8	2	1,5	2,2

[#] ± stdev på bestemmelsen

[±] ± e.o.m. værdi for bestemmelsen

[§] ± stdev mellem triplikater

n.m.: not measured

¹⁾: DS/EN/ISO 6222

²⁾: DS/EN/ISO 6222

³⁾: MK1361-ICP (RSD: 15%)

⁴⁾: MK4259DSEN27027 (RSD: 10%)

⁵⁾: DS/EN 25814-1 (RSD: 5%)

⁶⁾: MK4261DS/EN1484 (RSD: 10%)

Rekv.Nr:	5428	5430	5432	5434	5436	5438	5440	5442	5444
Prøvested:	Trykforøger Holkebjergvej	Højdebeholder Sandrum	Brandhane Ellegårdsvej	Højdebeholder Bolbro	Målerbrønd 2310 Ejlstrup	Målerbrønd 2810 Kalørvej/Tyrsbjergvej	Station 32 BH Troldhaven	Kalørvej 117	Hole Skovvej 2
Prøvetager:	Kim	Fl.K.	Kim	Fl.K.	R.D.	Kim	Fl.K.	Kim	-
Dato:	080205	080205	080205	080205	080205	080205	080205	080205	-
Tid:	06:35	06:55	07:35	07:35	09:45	09:15	08:20	09:45	-
T [C]	8,6	8,5	7,2	7,1	6,2	7,1	6,3	7,2	-
ATP [pg/mL]	1,1±0,3	0,9±0,2	1,3±0,2	0,7±0,2	0,9±0,2	0,6±0,3	0,5±0,4	0,4±0,3	0±0,2
ATP _{filt.} [pg/mL] [#]	0,4±0,3	0,1±0,5	0,2±0,4	0±0,3	0,3±0,3	0±0,3	0,1±0,3	0±0,3	0±0,3
AODC [$\times 10^3$ celler/mL] [#]	23±5	20±7	22±6	22±7	26±6	24±7	24±6	23±7	19±5
Kimtal _{R2A,20C,14 dage} [CFU/mL] [†]	13±9	187±35	40±16	47±18	87±24	20±12	80±23	27±13	27±13
AOC [μ g acetat-C/L] [§]	4,5±0,2	3,5±0,7	2,4±0,1	6,5±0,4	5±2	3,8±0,4	2,4±0,4	4±3	2±2
Eftervækst [$\times 10^4$ CFU/mL] [†]	8,2±0,7	5,1±0,6	4,3±0,5	1,9±0,1	9,7±0,8	2,5±0,1	5,9±0,6	4,8±0,7	11,7±0,9
Kimtal _{GEA,22C,72h} [CFU/mL] ¹⁾	3	33	4	4	3	4	5	3	3
Kimtal _{GEA,37C,48h} [CFU/mL] ²⁾	<1	2	<1	<1	<1	<1	<1	1	4
Jern (Fe) [mg/L] ³⁾	0,036	0,024	0,029	0,043	0,015	0,017	0,017	0,018	0,015
Turbiditet [FTU] ⁴⁾	0,14	0,14	0,15	0,14	0,10	0,11	<0,10	0,10	0,11
Ilt [mg/L] ⁵⁾	9,8	10,7	10,7	10,7	10,6	10,6	10,6	10,6	10,5
NVOC [mg/L] ⁶⁾	2	2,2	2,1	2,3	2,1	1,8	1,9	2,0	1,9

[#] ± stdev på bestemmelsen

[†] ± e.o.m. værdi for bestemmelsen

[§] ± stdev mellem triplikater

n.m.: not measured

¹⁾: DS/EN/ISO 6222

²⁾: DS/EN/ISO 6222

³⁾: MK1361-ICP (RSD: 15%)

⁴⁾: MK4259DSEN27027 (RSD: 10%)

⁵⁾: DS/EN 25814-1 (RSD: 5%)

⁶⁾: MK4261DS/EN1484 (RSD: 10%)